



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

KOORDINAATTIMITTAUSPALVELUN TARVEKARTOITUS

Akseli Kujanpää



Opinnäytetyö
Toukokuu 2017
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Modernit tuotantojärjestelmät

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Modernit tuotantojärjestelmät

KUJANPÄÄ AKSELI

Koordinaattimittauspalvelun tarvekartoitus

Opinnäytetyö 30 sivua, joista liitteitä 4 sivua
Toukokuu 2017

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää Pirkanmaalaisten teknologiateollisuuden yritysten tarvetta koordinaattimittauspalvelulle, sekä saada mittaustoiminnan kehittämiseen liittyvää tietoa. Selvitys toteutettiin 40 yritykselle suunnatulla verkkokyselytutkimuksella. Työn tarve liittyi syyskuussa 2015 avattuun tutkimus-, kehittämis- ja innovaatioympäristöön OpenLabiin, johon hankittiin uusi koordinaattimittauskone. OpenLabin tarkoituksena on tarjota yrityksille ja yhteisöille erilaisia tuotekehitys- ja innovaatiopalveluita sekä laitekanta ja siihen liittyvä osaaminen.

Työn tulokset saatiin analysoimalla verkkokyselytutkimuksen yhteenvedot vastauksista. Yhteenvedoista saatiin selville, että 40 prosentilla vastaajista olisi tarvetta koordinaattimittauspalvelulle. Koneen toiminta-alueen ja mittaustarkkuuden rajoitteet kuitenkin karsisivat joidenkin mittausten mahdollista toteuttamista. Tarvetta mittausohjelmiston hammaspyörien mittaamiseen tarkoitettujen lisäosien hankkimiselle sekä suurten sarjojen mittaamiselle esiintyi vähän.

Koordinaattimittauspalvelulle olisi vastausten perusteella tarvetta. Toimia ennen palvelun tarjoamista tulisi kuitenkin tehdä; esimerkiksi palvelupilotilla saisi tärkeää tietoa palvelun vaiheiden yksityiskohtaisesta toteuttamisesta. Ohjelmiston lisäosien hankkimiselle tulosten perusteella ei ilmennyt merkittävää tarvetta. Eri lisäosien hankkimista kannattaa kuitenkin harkita opetuskäytön näkökulmasta.

Opinnäytetyön liitteet koostuvat tutkimukseen vastanneiden yksittäisten henkilöiden vastauslomakkeista, tutkimuksen saatekirjeestä sekä otantaan kuuluneiden yritysten ja henkilöiden yhteystiedoista. Osa liitteistä sisältää vastaajien henkilökohtaisia tietoja, joten niitä ei voitu julkistaa luottamuksellisista syistä.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Mechanical and Production Engineering
Modern Production Systems

KUJANPÄÄ AKSELI

Coordinate Measurement Service Needs Assessment Survey

Bachelor's thesis 30 pages, appendices 4 pages
May 2017

The purpose of this thesis was to find out the need for a coordinate measurement service and to get useful information for developing measurement methods. The study was conducted as an online survey. The target group was 40 technology companies, which operate in the province of Pirkanmaa. The need for this study emerged when Tampere University of Applied Sciences opened a new research, development and innovation environment, OpenLab, in September 2015. As a part of a renewal of the machines in the laboratory, a new coordinate measuring machine was acquired. OpenLab strives to provide companies and businesses a variety of product development and innovation services, equipment, and related expertise.

According to the results, 40% of the respondents needed a coordinate measurement service. However, the constraints on the operating range and measurement accuracy of the machine limited the possible implementation of some measurements. The need for software add-ons and measuring large-scale measurement operations was minor.

Prior to providing the service, some preliminary actions should be taken; for example, the service pilot would give important information on the detailed implementation of the implementation stages of the service. There was no significant need for software add-ons based on the results. The acquisition of different add-ons should be considered from the perspective of teaching use.

The appendices of this Bachelor's Thesis consist of answers from individuals who have responded to the research, the cover letter of the survey, and the contact details of the companies and persons who have participated in the survey. These could not be published here for confidential reasons.

Key words: coordinate measuring, online survey

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	5
2	MITTAUS JA LAADUNVARMISTUS	6
2.1	Metrologia ja mittaus	6
2.2	Laatu ja laadunvarmistus	7
3	KOORDINAATTIMITTAUS	8
3.1	Koordinaattimittauskone	8
3.1.1	Mitutoyo Crysta Apex S 574.....	9
3.2	Mittauspääät	11
3.3	Mittausohjelmisto	12
3.4	Mittausepävarmuus	13
4	KYSELYTUTKIMUKSEN TOTEUTUS	14
4.1	Aiheeseen perehtyminen ja tutkimuksen kulku	14
4.2	Tutkimusongelmat	15
4.3	Tutkimusmenetelmä.....	15
4.4	Otanta ja tutkimusaineiston keruu	16
4.5	Kyselyn sisältö.....	17
5	TULOKSET JA ANALYSOINTI.....	18
5.1	Yrityksien tarve ulkopuoliselle koordinaattimittauspalvelulle.....	18
5.2	Koneen toiminta-alueen riittävyys.....	19
5.3	Tarve mittausohjelmiston GEARPAK-lisäosille	20
5.4	Tarve suurien sarjojen mittauksille	21
5.5	Mittausten erityisvaatimukset	23
5.6	Mittaustarkkuuden vaatimukset.....	24
6	POHDINTA JA JOHTOPÄÄTÖKSET	25
	LÄHTEET	26
	LIITTEET.....	27
	Liite 1. Saateviesti	27
	Liite 2. Muistutusviesti	28
	Liite 3. Kyselylomake 1(2).....	29
	Liite 3. Kyselylomake 2(2).....	30

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö on tehty Tampereen ammattikorkeakoululle. Työn aiheena on koordinaattimittauspalvelun tarvekartoitus. Tehtävänäni oli valita tutkimusmenetelmä ja toteuttaa kyselytutkimus, jolla kartoitettiin pirkanmaalaisten yritysten tarpeita koordinaattimittauspalveluun liittyen.

Tampereen ammattikorkeakoulun mittauslaboratorioon hankittiin 2015 vuodenvaihteessa japanilaisen mittalaitevalmistajan, Mitutoyon valmistama Crysta Apex S 574 -mallinen koordinaattimittauskone. Koneen ominaisuuksiin kuuluu mm. numeerinen ohjaus, ilma-laakerointi mekaanisen laakeroinnin sijaan, sekä kyky pyyhkäisymitata ennalta tuntematonta muotoa. Koneen hankinta avasi mahdollisuuksia tarkempaan ja nykyaikaisempaan tapaan suorittaa ja ohjelmoida mittauksia.

Koordinaattimittauskoneen hankinta liittyi Tampereen ammattikorkeakoulun syyskuussa avattuun tutkimus-, kehittämis ja innovaatioympäristö OpenLabiin, jonka tarkoituksena on tarjota yrityksille ja yhteisöille erilaisia tuotekehitys- ja innovaatiopalveluita sekä laitekanta ja siihen liittyvä osaaminen. Koulutuksen, yritystoiminnan sekä tutkimus-, kehitys- ja innovaatiotoiminnan yhdistäminen helpottaa esimerkiksi yrityksiä löytämään koordinaattimittakoneen ja mittaamisen osaamisen samasta paikasta, sekä toisaalta myös auttaa opiskelijoita saamaan kokemusta työelämän projekteista.

Toinen luku koostuu mittauksen, laadun ja laadunvarmistuksen teoriasta. Kolmannessa luvussa käsitellään koordinaattimittausta ja esitetään yksityiskohtaisempaa tietoa koneen ominaisuuksista sekä mittausohjelmistosta. Neljäs luku käsittelee kyselytutkimuksen toteutusta ja viidennessä luvussa esitetään ja analysoidaan saadut tulokset.

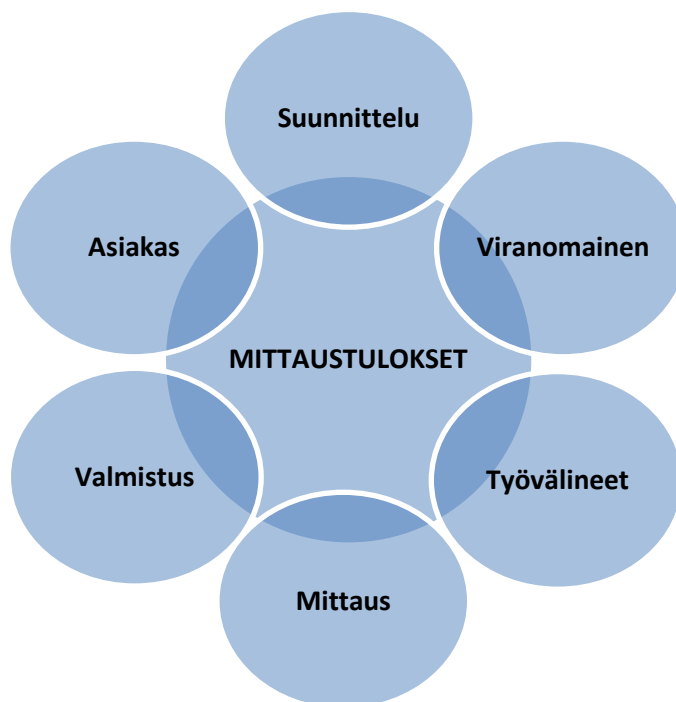
2 MITTAUS JA LAADUNVARMISTUS

2.1 Metrologia ja mittaus

Metrologia on tieteenala, joka käsittelee mittaamista. Sen keskeisimpiin kohteisiin kuuluu mm. suureet, mittayksiköt ja niiden mittanormaalit, mittauslaitteet, mittaustulosten käsittely sekä luotettavuuden arviointi. Yleisessä metrologiassa käsitellään mitattavasta suureesta riippumattomia kysymyksiä. Standardit eivät itsessään tuota vaihtokelpoisia osia, vaan tarvitaan konkreettisia mittaustoimia, metrologiaa. (Andersson 1997, 120.)

Mittaamisen perimmäinen tarkoitus ei ole parantaa laatua, vaan tuottaa luotettavaa ja käyttökelpoista tietoa, jota voidaan hyödyntää esimerkiksi tuotannon tehostamisessa ja tuotteiden kehittämisessä. Taloudellisista syistä on syytä optimoida mittauksiin käytetty aika sekä kohteet tarpeita vastaaviksi. Mittaaminen osana laatuja järjestelmää varmistaa yritysten kannattavan toiminnan. (Tikka, 2009, 9.)

Kuviossa 1 on esitetty mittaustulosten hyödyntämistä. Keskellä oleva leikkausympyrä kuvastaa mittaustuloksia, mistä kukin taho ottaa tarvitsemansa määrän informaatiota. Teollisuudessa mittaustuloksista voi hyötyä esimerkiksi suunnittelu, valmistus ja asiakas.



KUVIO 1. Mittaustulosten hyödyntäminen (Tikka 2009, 9, muokattu)

2.2 Laatu ja laadunvarmistus

Laadunvarmistuksella tarkoitetaan kaikkia toimia, joiden avulla asiakkaat saavat laatuvaatimuksiensa mukaisia tuotteita. Oikein toteutettuna laadunvarmistuksella mahdollistetaan yrityksen kannattavuus ja hyvä imago. Mittauksia ja tarkastuksia sisältävän laadunvarmistuksen kehitys alkoi sotateollisuuden tarpeista tuottaa vaihtokelpoisia osia ja on ollut siitä asti olennainen osa teollista tuotantotoimintaa. (Andersson 1997, 9.)

Laadun määritelmäksi ei ole yhtä oikeaa vastausta. Laadun määritelmä riippuu myöskin arvioijan näkökulmasta. Perusteena voi olla mm. tuoteominaisuudet, asiakasmielipide tai arvo. Laatu ei myöskään tarkoita korkeinta mahdollista laatua, vaan sitä kuinka hyvin palvelu tai tuote täyttää sille suunnitellun tehtävän toiminnan ollessa mahdollisimman kustannustehokasta. Saksan laatuyhdistys (DGQ) julkaisi vuonna 1979 määritelmän, jossa on sovitettu yhteen erilaisia laatukriteereitä: ”Laatu on tuotteen ominaisuuksien ja piirteiden kokonaisuus tai toiminnan kyky täyttää annetut vaatimukset.” (Andersson 1997, 20.)

Usein kun laatuasioista on kyse, törmää kuuluisimpien laatuajattelijoiden määritelmiin. Tunnetuimpia laatuajatteliijoita ja laatufilosofioiden kehittäjiä ovat W. Edwards Deming, Joseph Juran, Philip Crosby, Armand Feigenbaum ja Kaoru Ishikawa. Määritelmät laadusta poikkeavat toisistaan, mutta kaikissa on yhtenäisenä piirteenä sopivuus tarkoituksenmukaiseen käyttöön sekä laatuvaihtelujen hallinta. Suurelta osin näiden laatuajattelijoiden ansioista laatujohtaminen on kehittynyt siihen pisteeseen kuin se nyt on. (Andersson 1997, 20.)

3 KOORDINAATTIMITTAUS

3.1 Koordinaattimittauskone

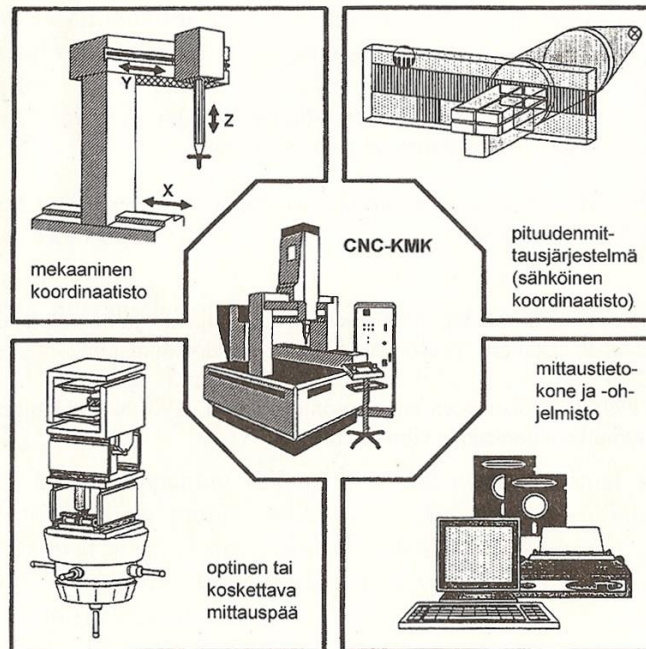
Koordinaattimittauksella tarkoitetaan digitointia, jossa pisteen paikka voidaan määrittää tarkasti avaruudessa koneen rakenteesta ja toimintatavasta riippuen. Mittaustapoja on monia ja useita niistä voidaankin luonnehtia ennemminkin mittausjärjestelmiksi, joihin kuuluu useita laitteita menetelmiä ja ohjelmia. Koordinaattimittauksesta puhuttaessa ei siis ole aina kyse kompaktin kokoisella koneella suoritettavasta mittauksesta. Uusia menetelmiä ja tarpeita erityisesti suurten kappaleiden mittaukseen ja digitointiin syntyy jatkuvasti. (Tikka, 2009, 16.)

Koordinaattimittauskone (KMK) on lukuisille kappale- ja geometriaryhmille tarkoitettu yleismittauskone. Koneet luokitellaan yleensä runkorakenteen mukaan. Mittapään liike voidaan toteuttaa käsin tai servomootoreilla. Servomootoreilla toteutetut liikkeet ovat yleensä tarkempia ja nopeampia, joten esimerkiksi numeerisesti ohjatun (CNC) koordinaattimittauskoneen edut tulevat esiin varsinkin, kun halutaan nopeasti ja paljon mittaustuloksia hyvällä toistettavuustarkkuudella.

KMK pystyy myös mittauksiin, mihin perinteisiä mittauskeinoja käyttämällä tarvittaisiin monenlaisia mittalaitteita, tai mitkä olisivat vaikeita ja työläitä toteuttaa; esimerkiksi työkappaleen referenssipintojen/-pisteiden etäisyys, tasomaisuus, ympyrämäisyys, yhden-suuntaisuus ja suoruus. (VTT 2016.)

Portaalityyppisen koordinaattimittauskoneen toiminta perustuu geometrisesti tarkkoihin johteisiin, joiden avulla kone liikkuu kolmella akselilla (XYZ) suoraviivaisesti. Koneen aseman määrittämiseen tarvitaan koneessa olevia mittasauvoja, jotka luovat sähköisen koordinaatiston. Mittauspään pääasiallinen tarkoitus on antaa informaatiota mitattavan pisteen sijainnista, on kyseessä sitten optinen tai mekaaninen mittauspää. (Andersson 1997, 226.)

Kuvassa 1 on esitetty portaalityyppisen CNC-Koordinaattimittauskoneen keskeisimmät mittaamiseen tarvittavat osa-alueet. Koneiden mekaanisten osien lisäksi, mittausohjelmistot ovat kehittyneet erittäin paljon viime vuosikymmeninä.



KUVA 1. Koordinaattimittauskoneen osat (Andersson 1997, 226)

3.1.1 Mitutoyo Crysta Apex S 574

Mitutoyo Crysta Apex S 574 (KUVA 2) on maailman johtavan tarkkuusmittalaitteiden valmistajan, Mitutoyon valmistama portaalityypin CNC-koordinaattimittauskone. Crysta Apex S-sarja on korkean suorituskyvyn omaava edullinen CNC-koordinaattimittauskone. Kone hankittiin Tampereen ammattikorkeakoululle joulukuussa 2015 vanhan käsikäyttöisen koneen poistuttua käytöstä. Kone sijaitsee konelaboratorion mittaushuoneessa.



KUVA 2. Mitutoyo Crysta Apex S 574 (Kuva: Akseli Kujanpää 2017)

Koneen ominaisuuksiin kuuluu lämpötilan kompensointi, mikä mahdollistaa tarkat mitaukset esimerkiksi konepajaympäristössä lämpötila-alueella 16–26 °C. Mittauslämpötilan tulee kuitenkin olla tasainen. Koneen laakerointi on toteutettu ilmalaakerointina, minkä ansiosta koneen johteiden kuluminen ei aiheuta mittausepävarmuuden kasvua. Taulukossa 1 on esitetty koneen keskeisimmät ominaisuudet, kuten koneen akseleiden liikenopeudet, mittausnopeus ja työkappaleen suurin sallittu massa. (Mitutoyo 2015.)

TAULUKKO 1. Koordinaattimittakoneen ominaisuudet (Mitutoyo 2015)

Model No.		CRYSTA-Apex S544	CRYSTA-Apex S574
Measuring range	X axis	19.68" (500mm)	
	Y axis	15.74" (400mm)	27.55" (700mm)
	Z axis	15.75" (400mm)	
Resolution		0.000004" (0.0001mm)	
Guide method		Air bearings on each axis	
Drive speed		8-300mm/s (CNC mode), max. speed: 519mm/s 0 - 80mm/s (J/S Mode: High Speed) 0 - 3mm/s (J/S Mode: Low Speed) 0.05mm/s (J/S Mode: Fine Speed)	
Max. measuring speed		8mm/s	
Max. drive acceleration		2,309 mm/s ² (3D)	
Workpiece	Maximum height	21.45" (545mm)	
	Maximum mass	396.8lbs. (180kg)	
Mass (including the control device and installation platform)		1,135lbs. (515kg)	1,377lbs. (625kg)
Air supply	Pressure	58 PSI (0.4MPa)	
	Consumption	1.76CFM (50L/min) under normal conditions	
	Air source	3.53CFM (100L/min)	

3.2 Mittauspää

Mittauspäiden tarkoitus koordinaattimittakoneissa on tuottaa informaatiota mitattavasta työkappaleesta. Toimintatapansa perusteella mittapää voidaan kahteen ryhmään: koskettaviin ja koskemattomiin. Koskemattomilla mittauspäillä tarkoitetaan digitaalisia kame-roita sekä lasermittauspäitä. Koskettavat mittauspää taas rekisteröivät mittauspisteen me-kaanisesta kosketuksesta. Näistä kahdesta, koskettavat ovat yleisempiä. (Andersson 1997, 233.)

Koskettavat mittauspää voidaan jakaa kahteen alakategoriaan: kytkeviin ja mittaaviin. Kytkevä mittauspää on yksinkertaisempi ja sen toimintaperiaate on lähes sama kuin sähkökatkaisijalla. Mittaava mittauspää taas toimii pienen mittauskoneen tavoin mahdollis-taen kosketuksen suunnan tunnistamisen. Suunnan tunnistus on vaatimus, jos halutaan esimerkiksi pyyhkäisymitata (skannata) työkappaletta. Mittaavilla mittauspäillä ei myös-kään esiinny epätarkkuutta mitattaessa pitkällä kärjillä mittauspään tunnistaessa kärjen aseman. (Andersson 1997, 234–235.)

Kuvassa 3 on esitetty mittauspään, skannaavan mittausanturin, mittausmoduulin ja kärjen yhdistelmä. Kyseistä yhdistelmää on mahdollista käyttää TAMKIn KMK:ssa. Poiketen edellisestä mitaavan mittauspään kuvauksesta, yhdistelmässä on 720 eri mittausasentoa mahdollistava indeksoiva mittauspää, minkä lisäksi on skannaava mittausanturi. Mittaus-moduulin tyyppi riippuu käytettävän mittauskärjen pituudesta. Kuvan SM25-1 mittaus-moduuli on tarkoitettu 20–50 millimetrin pituisille mittauskärjille.



KUVA 3. Mittauspää (Oberon3d, muokattu)

3.3 Mittausohjelmisto

Koordinaattimittauskoneen yhteyteen, toimintatavastaan riippumatta tarvitaan aina tietokone sekä mittausohjelmisto. Mittausohjelmiston pääasiallinen tarkoitus CNC-koordinaattimittakoneissa on käsitellä mittapään antamaa informaatiota mittauspisteestä, sekä ohjata koneen liikkeitä. Mittauspisteiden avulla ohjelma pystyy muodostamaan geometrioita sekä elementtejä, joita voidaan esimerkiksi tarkastella sellaisenaan tai verrata niitä CAD (tietokoneavusteinen suunnittelu) -malleihin.

Mitutoyon modulaarinen mittausohjelmisto, MCOSMOS on mahdollista räätälöidä asiakkaan tarpeiden mukaisilla moduuleilla. TAMKIn mittausohjelmistopaketti (MCOSMOS 3) sisältää kuvassa 2 esitetyt moduulit, jotka mahdollistavat mm. osaohjelmien luomisen CAD-mallin avulla, offline-ohjelmoinnin, tuntemattomien muotojen skannaamisen sekä 3D-muotojen todentamisen. Moduuleja on myös saatavilla erikoistarkoituksiin, kuten esimerkiksi siipiprofiilien sekä erilaisten hammaspyörien analysointiin.



MCOSMOS		MCOSMOS 1				MCOSMOS 2				MCOSMOS 3			
Software packages		manual		CNC		manual		CNC		manual		CNC	
	Part Manager	INCLUDED		INCLUDED		INCLUDED		INCLUDED		INCLUDED		INCLUDED	
	Geometry	INCLUDED		INCLUDED		INCLUDED		INCLUDED		INCLUDED		INCLUDED	
	Online/offline programming			Optional		INCLUDED		INCLUDED		INCLUDED		INCLUDED	
	3D freeform surface evaluation	Optional		Optional		Optional		Optional		INCLUDED		INCLUDED	
	2D profile evaluation	Optional		Optional		Optional		Optional		INCLUDED		INCLUDED	
	Statistics evaluation	Optional		Optional		Optional		Optional		Optional		Optional	
	Aerofoil evaluation	Optional		Optional		Optional		Optional		Optional		Optional	
	Involute gear profile evaluation			Optional		Optional		Optional		Optional		Optional	
	Dimensional interface (DMIS)			Optional		Optional		Optional		Optional		Optional	
	NC correction			Optional		Optional		Optional		Optional		Optional	
	Queuing system			Optional		Optional		Optional		Optional		Optional	

KUVA 4. Mittausohjelmiston moduulit (Mitutoyo 2005)

3.4 Mittausepävarmuus

Kaikki mittaustulokset ovat vain arvioita mitattavasta kohteesta. Jotta mittaustulokset olisivat käyttökelpoisia, tulee ne esittää mittaasepävarmuuden kanssa. Mittaustulokseen vaikuttaa useita tekijöitä, joita ei ole mahdollista tuntea täysin. Mittausepävarmuus tarkoittaa siis vaihteluväliä, joka kuvaa mittaustuloksen oletettua vaihtelua. (Finas 2016.)

Mittaasepävarmuuden suuruuteen vaikuttavia tekijöitä ovat mm:

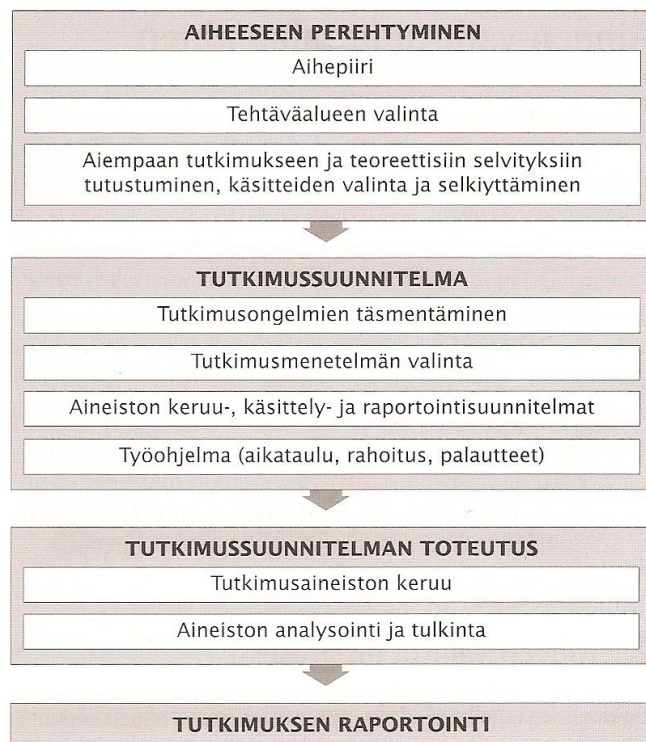
- Ympäristöolosuhteet
- Mittalaitteiden toimivuus
- Inhimilliset virheet mittaustilanteessa
- Mittausmenetelmän vaihtelu
- Kalibrointi

4 KYSELYTUTKIMUKSEN TOTEUTUS

4.1 Aiheeseen perehtyminen ja tutkimuksen kulku

Aiheeseen perehtyminen oli tärkeässä osassa tutkimuksen onnistumisen kannalta. Kordinaattimittauskoneen ja ohjelmiston käyttö sekä ominaisuuksiin perehtyminen vaativat melko paljon konepajateknisiin mittauksiin ja koneen valmistajan materiaaleihin tutustumista. Aiheesta löytyi kuitenkin hyvin tietoa internetistä sekä kirjallisuudesta. Valmistajan käyttökoulutukseen osallistuminen auttoi koneen toiminnan ymmärtämisessä.

Tutkimuksen kulku noudatti hyvin kuviossa 2 esitettyjä vaiheita. Työ eteni aiheeseen perehtymisen jälkeen tutkimussuunnitelman tekemiseen, joka koostui tutkimusongelmien täsmentämisestä, menetelmän valinnasta sekä aineiston keräämisen yksityiskohtaisesta suunnittelusta. Tutkimussuunnitelman toteutus koostui aineiston keruusta sekä tulosten analysoinnista.



KUVIO 2. Tutkimuksen kulku (Hirsijärvi, Remes & Sajavaara 2009, 65)

4.2 Tutkimusongelmat

Aiheeseen perehtymisen jälkeen seuraava vaihe työssä, osana tutkimussuunnitelmaa oli selvittää tutkimusongelmat. Tutkimusongelmia määritettäessä tuli tarkkaan miettiä mitä aiheesta halutaan tietää; määrittäminen selkeyttää sitä, mitä ollaan tutkimassa ja näin helpottaa ja selkeyttää työtä ja sen etenemistä.

Tutkimuksen tarkoitus oli kartoittaa Pirkanmaalla toimivien teknologiateollisuuden yritysten tarpeita liittyen koordinaattimittaukseen. Alueen määrittäminen perustui siihen oletukseen, että mahdollisesti palvelua tarvitseva yritys ei toimittaisi kappaleita mitattavaksi Pirkanmaan ulkopuolelta. Pääosa perusjoukosta kohdistui metallialan valmistavan teollisuuden yrityksiin, koska näillä oletettiin olevan eniten tarvetta palvelulle. Toisaalta perusjoukossa oli myös yrityksiä jotka eivät työstä metallia, joten tarpeeksi laaja määritelmä oli teknologiateollisuuden yritykset. Edellä mainituista asioista muodostui kaksi tutkimusongelmaa:

- Onko Pirkanmaalaisilla teknologiateollisuuden yrityksillä tarvetta ulkoiselle koordinaattimittauspalvelulle?
 - Minkälaisia vaatimuksia yrityksillä olisi mittauspalvelulle?

4.3 Tutkimusmenetelmä

Tutkimusongelmien selvittämisen jälkeen tuli valita sopiva menetelmä aineiston keräämiseksi. Tutkimusmenetelmäksi valikoitui määrällinen (kvantitatiivinen) menetelmä, tarkemmin ottaen verkkokyselytutkimus (survey-tutkimus). Määrällinen menetelmä soveltuu hyvin suuria ryhmiä kartoittaviin tutkimuksiin, kun taas laadullinen (kvalitatiivinen) menetelmä soveltuu hyvin pienemmän aineiston tutkimiseen.

Kuviossa 3 on esitetty määrällisen ja laadullisen tutkimuksen eroja. Tehtyä kyselytutkimusta ei voida kuitenkaan luonnehtia täysin määrälliseksi tutkimukseksi, koska kyselylomake sisälsi tilastollisesti käsiteltävien kyllä tai ei -vastausvaihtoehtoisten kysymysten lisäksi kysymyksiä, joihin tuli vastata sanallisesti.

Määrällinen tutkimus (Quantitative research)	Laadullinen tutkimus (Qualitative research)
Laajat määrälliset aineistot (esim. tilastot)	Pienempi aineisto, aineiston laadun merkitys
Mittaaminen ja testaaminen	Havainnointi ja tulkitseminen
Tutkija aineistostaan ulkopuolinen	Tutkija aineiston tulkitsijana
Vastaa kysymykseen 'kuinka suuri', 'montako'	Vastaa kysymykseen 'miksi', 'millainen'
Yleistettävyyys	Joustavuus

KUVIO 3. Tutkimusmenetelmien erot (RajatOn 2015)

4.4 Otanta ja tutkimusaineiston keruu

Kyselytutkimusta laatiessa aluksi tulee määrittää havaintoyksikkö ja perusjoukko. Havaintoyksiköllä tarkoitetaan havainnoinnin mittauksen kohteita, eli tutkimuksen havaintoyksiköksi tutkimusongelman perusteella määräytyi yksi yritys. Kriteerit täyttävät havaintoyksiköt taas muodostavat kokonaisuuden, jota kutsutaan perusjoukoksi. Koko perusjoukkoa ei ollut mielekästä tutkia, joten perusjoukosta valittiin otos. (KvantiMOTV 2003.)

Havaintoyksikön kriteereinä oli Pirkanmaalaisuus sekä teknologiateollisuuden yritys. Yritysten tiedot kerättiin Excel-taulukkolaskentaohjelmaan mm. Fonecta Finder.fi -yrityshakupalvelusta, Googlesta, TAMKin yhteistyöyritysten listasta sekä alihankintamesujen näytteilleasettajien listasta. Perusjoukosta arvottiin yrityksiä, joista muodostui tutkimuksen otos. Otoksen kokoa rajoitti melko tarkat kriteerit. Otoskooksi määrittyi 40 yritystä. Otoksen alarajana voidaan pitää 30 havaintoyksikköä. (Taanila 2012.)

Kyselytutkimuksen toteutusmenetelmiä on useita, kuten esimerkiksi kirjekysely, puhelinhaastattelu sekä verkkokysely. Sopivimmaksi keruumenetelmäksi todettiin verkkokysely. Verkkokysely mahdollisti lähetetyn kyselytutkimuksen linkin edelleen lähettämisen yrityksen sisällä, sekä sen, että vastausta oli mahdollista miettiä ilman tiukkaa aikarajaa.

Verkkokyselytutkimuksen toteuttamiseen on tarjolla useita selainpohjaisia työkaluja. Työn toteutukseen valittiin yhdysvaltalaisen Survey Monkeyn kyselytutkimustyökalu. Työkalun ilmaisessa versiossa oli mahdollista suunnitella maksimissaan 10 kysymyksen selkeä kyselylomake (Liite 3). Kysely lähetettiin linkkinä saateviestin (Liite 1) yhteydessä sähköpostitse. Vastausprosentin parantamiseksi laadittiin muistutuskirje (Liite 2), joka lähetettiin viikon kuluttua kyselyn lähettämisestä. Yhteensä kyselyn vastausajaksi tuli kaksi viikkoa.

4.5 Kyselyn sisältö

Tehtäessä verkkokyselytutkimusta, erittäin tärkeää tutkimuksen onnistumisen kannalta oli suunnitella kyselyn sisältö hyvin. Kysymysten järjestys ja kyselyn pituus vaikuttavat ratkaisevasti tutkimuksen vastausprosenttiin. Kysymysten selkeyteen tuli myös kiinnittää erityistä huomiota; kysymys tuli muotoilla niin, että sitä ei ollut mahdollista ymmärtää monella tavalla. Kaikkien kysymysten tuli myös vastata tutkimusongelmiin.

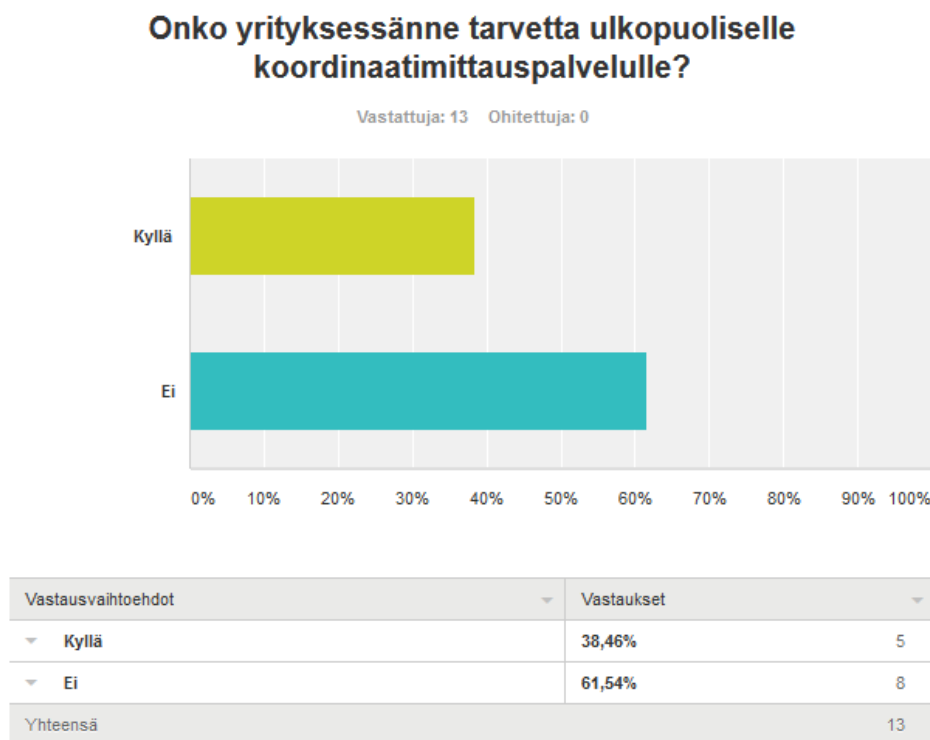
Osa kysymyksistä pystyttiin helposti muotoilemaan muotoon, johon vastattiin kyllä tai ei. Joidenkin kysymysten kohdalla vastaus oli käytännöllisempää saada kirjoitetussa muodossa. Osaan lomakkeen kysymyksistä ei ollut vastauspakkoa, koska tulos olisi vääristynyt vastaajan vastatessa kysymyksiin, vaikka tarvetta koordinaattimittaukselle ei olisi ollut. Kysymyksiin vastaaminen vaati tietoja koneen ominaisuuksista. Ominaisuudet esitettiin kyselykaavakkeen (Liite 3.) yläreunassa. Kysymykset, yhteenvedot vastauksista sekä tulosten analysointi ovat esitetty seuraavassa luvussa.

5 TULOKSET JA ANALYSOINTI

5.1 Yrityksien tarve ulkopuoliselle koordinaattimittauspalvelulle

Tutkimuskaavakkeen ensimmäisessä kysymyksessä kysyttiin yrityksen tarvetta ulkopuoliselle koordinaattimittauspalvelulle. Tämä kysymys vastasi tutkimuksen pääongelmaan. Muita tutkimuksen kysymyksiä voisi luonnehtia lähinnä tarkentaviksi kysymyksiksi. Kysymykseen vastaaminen oli määritetty pakolliseksi kaavakkeessa.

Kuviosta 3 voidaan todeta, että noin 40 prosentilla vastaajista olisi tarvetta ulkopuoliselle koordinaattimittauspalvelulle. Tulos kertoo kuitenkin vain kokonaistarpeesta, eikä mahdollisten palvelun ostajien määrästä.

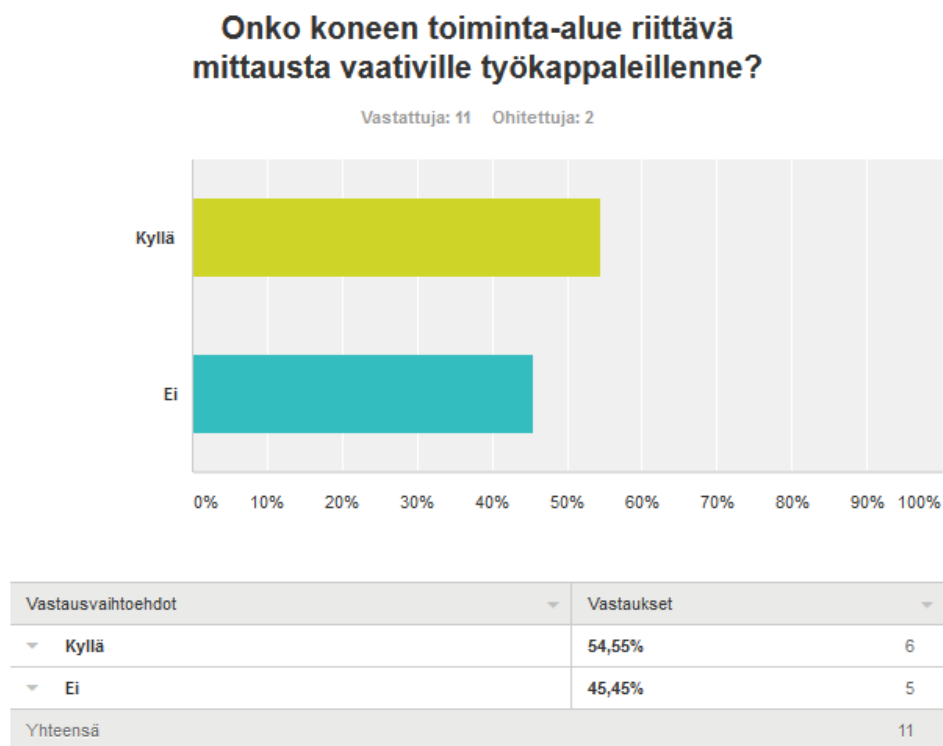


KUVIO 3. Koordinaattimittauspalvelun tarve

5.2 Koneen toiminta-alueen riittävyys

Kaavakkeen toisessa kysymyksessä kysyttiin koneen toiminta-alueen riittävyyttä. Toisinaan mitattavat kappaleet saattavat olla erittäin suuria ja painavia, joten KMK:n toiminta-alueen ja kappaleen suurimman sallitun massan ylittäminen poissulkevat mahdollisuuden mittaukseen. Kysymystä ei oltu määritetty pakolliseksi vastata, koska tieto on hyödytön, jos vastaajalla ei ollut tarvetta koordinaattimittaukselle.

Kuviosta 4 voidaan todeta, että mahdollisista palvelun tarvitsijoista noin puolella tulisi koneen toiminta-alueen rajoitteet vastaan. Toiminta-alueen suurentamiseksi ei ole tehtävissä mitään toimia ostamatta uutta koordinaattimittauskonetta.

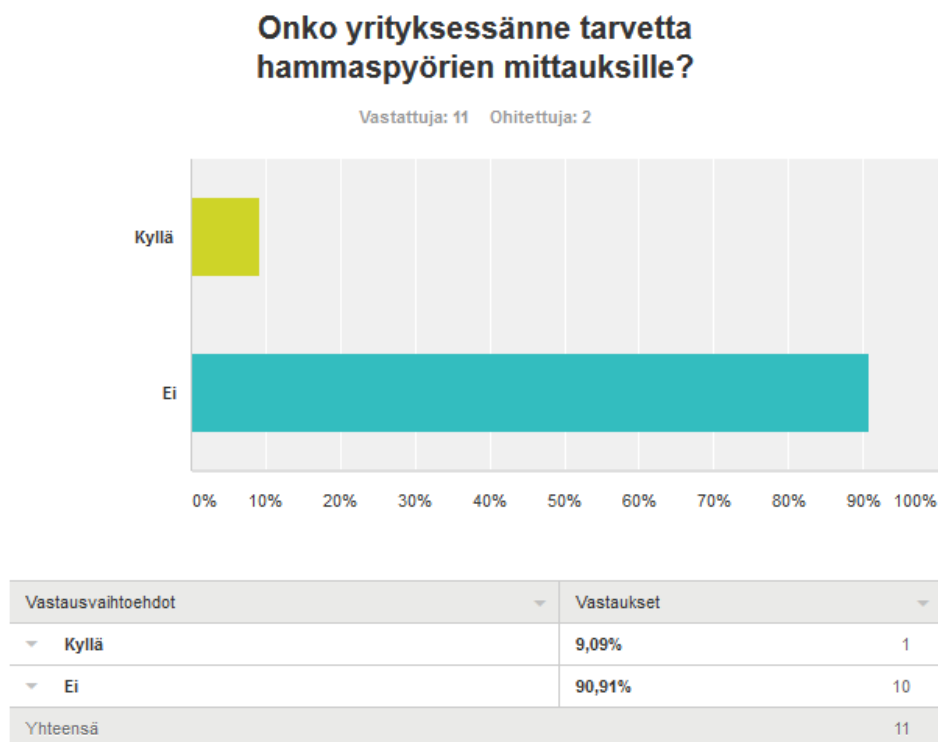


KUVIO 4. Koneen toiminta-alueen riittävyys

5.3 Tarve mittausohjelmiston GEARPAK-lisäosille

Kaavakkeen kolmannessa kysymyksessä kysyttiin yritysten tarpeesta hammaspyörrien mittauksiin. Kysymys liittyi mittausohjelmiston GEARPAK-lisäosien hankkimisen tarpeeseen. KMK:lla on toki mahdollista mitata hammaspyöristä esimerkiksi elementtien etäisyyksiä, mutta lisäosat hyödyntävät juuri hammaspyörrien mittaamiseen tarkoitettuja kehittyneitä laskentakaavoja ja algoritmeja, sekä vertaa mittautuloksia standardien vaatimuksiin. Kartiohammaspyörille, lieriöhammaspyörille sekä kierähammaspyörille on olemassa omat lisäosansa.

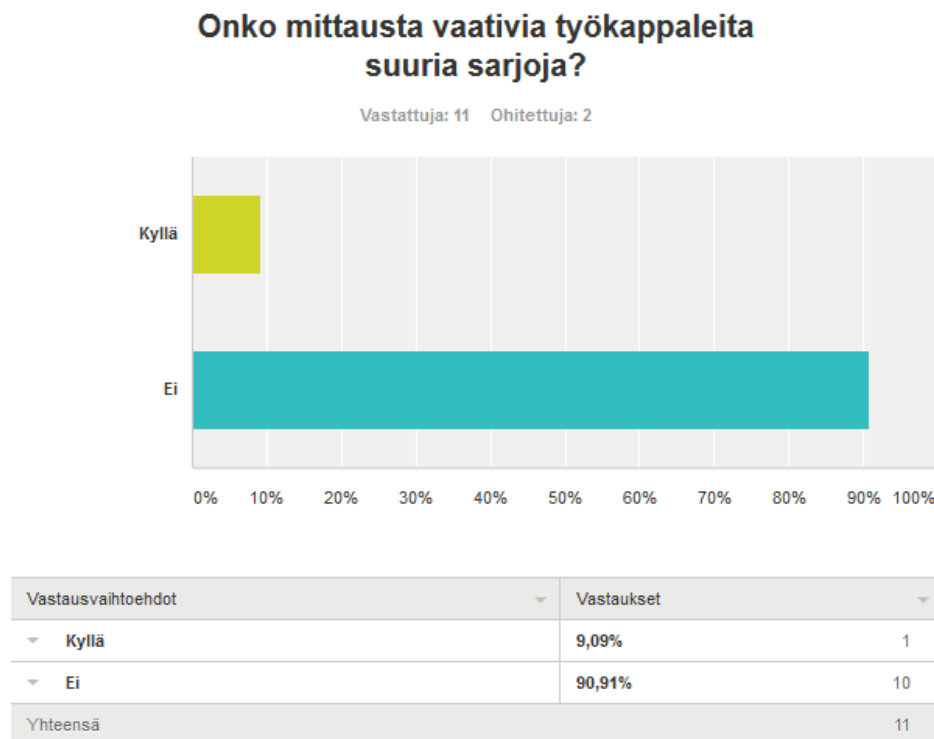
Kuviosta 5 voidaan nähdä, että tarvetta hammaspyörrien mittauksille esiintyy vähän. Tuloksen perusteella hammaspyörrien mittaamiseen tarkoitettujen lisäosien hankkimiselle ei olisi palvelun näkökulmasta tarvetta.



KUVIO 5. Tarve hammaspyörrien mittauksille

5.4 Tarve suurien sarjojen mittauksille

Neljännessä kysymyksessä kysyttiin yritysten tarpeista mitata suuria sarjoja työkappaleita, koska CNC-KMK soveltuu mittausohjelmistoinen erittäin hyvin suurien sarjojen mittaamiseen. Kuviosta 6 nähdään tarpeen olevan vähäistä. Tuloksesta voidaan päätellä, että mahdollisten mittauspalvelua tarvitsevien asiakkaiden tarve olisi yleensä mitata yksittäisiä kappaleita, ei niinkään sarjoja.



KUVIO 6. Tarve suurien sarjojen mittauksille

Viidennessä kysymyksessä kysyttiin tarkennusta sarjojen kappalemääristä, sekä sitä, kuinka usein sarjoja mitataan. Kysymyksen tarkoituksena oli saada kuva siitä, pystytäänkö suurien sarjojen mittaamisen tarpeeseen vastaamaan. Kysymykseen vastanneiden määrä jäi melko vähäiseksi, koska tarve mitata suuria sarjoja oli vähäistä. Tarve vaihtelee päivittäisten mittausten tarpeesta muutamaan kertaan vuodessa.

Jos vastasit edelliseen kyllä, kuinka usein sarjoja mitataan? Kuinka suurista kappalemääristä on kyse?

Vastattuja: 3 Ohitettuja: 10

● Vastaukset (3)
Tekstianalyysi
Omat luokat

Luokittele... ▼
 Suodata luokittain ▼

Näkyvissä 3 vastausta

Päivittäisiä mittauksia. Sarjat yhdestä kappaleesta muutamaan kappaleeseen. Poikkeuksellisesti joskus muutamien kymmenien kappaleiden sarjoja.
 20.4.2017 11:44 [Katso vastaajan vastaukset](#)

Päivittäin, otosperiaatteella. Työstökoneen laaduntuottokyky määrittelee otosmäärän.
 20.4.2017 9:20 [Katso vastaajan vastaukset](#)

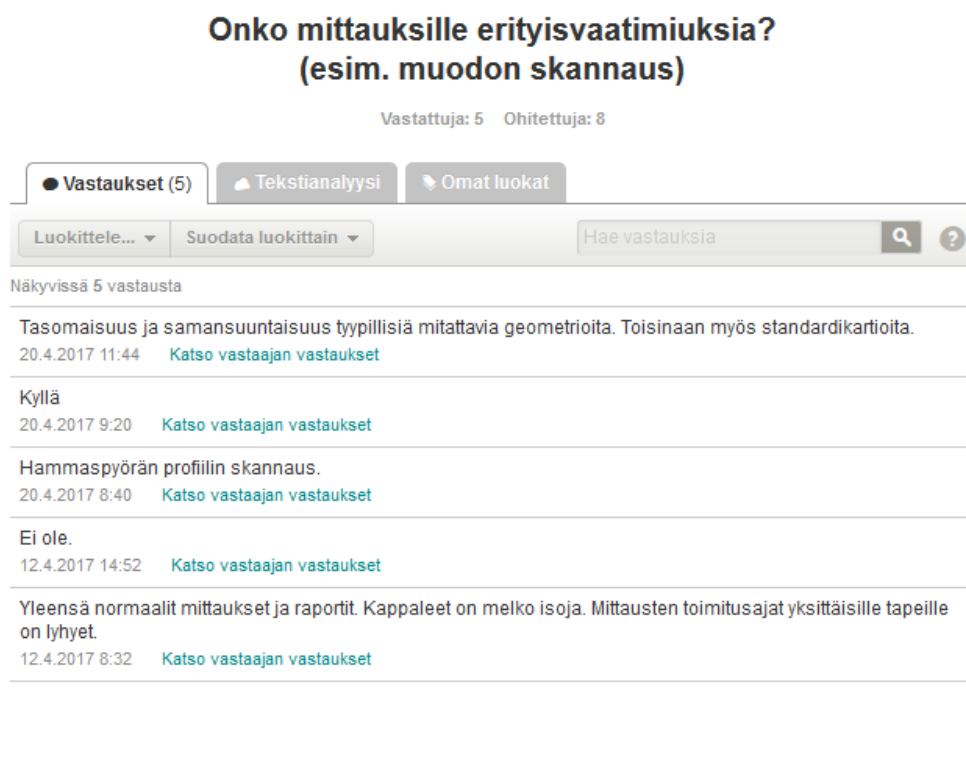
Tarve on satunnainen. 0-5 kertaa vuodessa.
 12.4.2017 14:52 [Katso vastaajan vastaukset](#)

KUVIO 7. Sarjojen mittaustiheys ja kappalemäärät

5.5 Mittausten erityisvaatimukset

Kuudes kysymys koski erityisvaatimuksia mittauksissa. Kuten edellä esitettiin, kone on varustettu indeksoivalla mittauspäällä, skannausanturilla sekä kattavalla mittausohjelmistolla. Kysymyksellä haluttiin selvittää, onko yrityksillä tarvetta kyseisille ominaisuuksille sekä mahdollisia tarpeita joihin ei pystytä vastaamaan.

Kuviosta 8 nähdään, että tarve koostuu tasomaisuuksien, samansuuntaisuuksien sekä perus geometrioiden mittauksista, mutta toisaalta muodon skannaukselle olisi myös tarvetta. Koordinaattimittauskone lisävarusteineen pystyy vastaamaan hyvin näihin tarpeisiin. Mittausraporttien laatimiseen tulisi myös kiinnittää huomiota.



KUVIO 8. Erityisvaatimukset mittauksille

5.6 Mittaustarkkuuden vaatimukset

Seitsemännessä kysymyksessä haluttiin selvittää mittaustarkkuuksien vaatimuksia. Kysymyksen tarkoituksena oli selvittää, pystytäänkö yritysten mittaustarkkuuksien vaatimuksiin vastaamaan. Suoraa vastausta mittaustarkkuuden riittävyyteen ei voida antaa, koska mittausepävarmuus koostuu monesta osatekijästä, kuten koneesta, mittausolosuhteista, mittaajasta sekä työkappaleen koosta.

Kuviosta 9 nähdään, että vaatimuksien vaihtelua esiintyy. Vastauksista nähdään myös, että toleranssivaatimukset ovat osittain melko suuria. Mittausepävarmuutta pienentäviä toimenpiteitä, esimerkiksi mittausolosuhteiden parantamista olisi suositeltavaa toteuttaa mittausepävarmuuden pienentämiseksi.

Mihin toleranssiin tarkimmissa mittaauksissanne tulisi päästä?

Vastattuja: 8 Ohitettuja: 5

Vastaukset (8)
Tekstianalyysi
Omat luokat

Luokittele...
Suodata luokittain
Hae vastauksia

Näkyvissä 8 vastausta

Arkipäiväinen tarkin toleranssi $\pm 0,02\text{mm}$ Poikkeustilanteissa tarve $\pm 0,001\text{mm}$ toleranssille.	20.4.2017 3:44	Katso vastaajan vastaukset
$\pm 2 \mu\text{m}$	20.4.2017 1:20	Katso vastaajan vastaukset
IT5	20.4.2017 0:40	Katso vastaajan vastaukset
$\pm 0,001\text{mm}$.	19.4.2017 23:47	Katso vastaajan vastaukset
esim. samakeskeisyys $0,015 \text{ mm}$.	12.4.2017 6:52	Katso vastaajan vastaukset
IT6, Muoto ja sijaintitoleransseissa $0,001$	12.4.2017 0:32	Katso vastaajan vastaukset
$\pm 0,005$	12.4.2017 0:19	Katso vastaajan vastaukset
alle 1 mm	12.4.2017 0:11	Katso vastaajan vastaukset

KUVIO 9. Mittaustarkkuuden vaatimukset

6 POHDINTA JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Työ alkoi tutustumalla mittaustekniikan kirjallisuuteen sekä perehtymällä koordinaattimittauskoneen toimintaan ja ominaisuuksiin. Perehtyminen auttoi hahmottamaan mittauspalvelun mahdollisia vaiheita sekä ymmärtämään koneen mahdollisuudet, ominaisuudet ja rajoitteet. Koneen valmistajan käyttökoulutukseen osallistuminen oli mielestäni erittäin hyödyllistä. Mittaustekniikan lisäksi tuli myös perehtyä tutkimusmetodeihin ja niiden toteuttamiseen.

Kyselytutkimuksen toteutus eteni odotetulla tavalla, joskaan ei alun perin suunnitellussa aikataulussa. Kokonaisvastausprosentiksi muistutuskirjeen lähettämisen jälkeen kyselytutkimukselle tuli 32,5 %. Vastausprosentti jätti toivomisen varaa, mutta suuri kato on yleistä verkkokyselytutkimuksissa. Vaikeuksia kyselytutkimuksessa aiheutti perusjoukon valinta sekä otannan koon valinta. Perusjoukko koostui tietyin kriteerein valituista havaintoyksiköistä, mikä heikentää tutkimuksen luotettavuutta tieteelliseltä kannalta. Suurempi otanta olisi myös luultavasti parantanut tutkimuksen luotettavuutta. Kysymykset vastasivat kuitenkin tutkimusongelmiin.

Tarvetta mittausohjelman hammaspyörien mittaukseen liittyvien lisäosien hankkimiselle esiintyi vähän. Myöskin tarvetta mitata suuria sarjoja ilmeni vain vähän. Lisäosien hankintaa on kuitenkin syytä harkita opetuksen kannalta. Esimerkiksi siipiprofiilien mittauksiin tarkoitetun lisäosan hankinnasta voisi olla hyötyä lentokonetekniikan opiskelijoille.

Mielestäni tutkimuksessa ilmenneen tarpeen perusteella mittauspalvelun tarjoamista kannattaisi viedä eteenpäin. Koordinaattimittauskoneen toiminta-alueen rajoitteet, sekä mitausten tarkkuusvaatimukset luovat kuitenkin rajoitteita useiden mitausten mahdolliselle suorittamiselle. Kuitenkin ennen palvelun tarjoamista ehdottaisin palvelupilotin tekemistä yhteistyöyrityksen kanssa. Pilotilla olisi mahdollista saada yksityiskohtaista tietoa palvelun toteuttamisesta sekä kannattavuudesta.

LÄHTEET

Andersson, P. & Tikka, H. 1997. Konepajan tuotantotekniikka. Mittaus- ja laatutekniikat. Porvoo: WSOY.

FINAS-akkreditointipalvelu. 2016. Luettu 10.4.2017.
<https://www.finas.fi/akkreditointi/jaljitettavyys/Sivut/Mittausepavarmuus.aspx>

Hirsijärvi, S., Remes, P. & Sajavaara P. 2009. Tutki ja kirjoita. 15. uudistettu painos. Helsinki: Tammi.

KvantiMOTV. 2003. Otantamenetelmät. Luettu 28.4.2017.
<http://www.fsd.uta.fi/menetelmaopetus/otos/otantamenetelmat.html>

Mitutoyo. 2015. CRYSTA-APEX S SERIES. PDF-tiedosto. Luettu 31.3.2017.
http://www.mitutoyo.com/wp-content/uploads/2013/01/2097_CRYSTA_ApexS.pdf

Mitutoyo. 2005. CMM SOFTWARE. PDF-tiedosto. Luettu 31.3.2017.
http://www.teraskonttori.fi/easydata/customers/teraskonttori/files/mittausvalineet/Mitutoyo_CMM_MCOSMOS.pdf

Oberon 3D Metrologia. Renishaw laitteet. Luettu 29.4.2017.
<http://www.oberon3d.pl/sonda-pomiarowa-sp25m>

RajatOn. 2015. Tutkijan ABC. Luettu 5.5.2017.
<https://rajatontatiedekasvatusta.wordpress.com/tutkijan-abc/>

Taanila, A. 2012. Otskokoko. Luettu 29.4.2017.
<https://tilastoapu.wordpress.com/2012/03/01/otskokoko/>

Tikka, H. 2007. Koordinaattimittaus. Tampere: Tampereen Yliopistopaino Oy - Juvenes Print.

VTT. 2016. Koordinaattimittauskoneet. Luettu 23.3.2017.
<http://www.mikes.fi/tutkimus/laitteet/koordinaattimittauskoneet>

LIITTEET

Liite 1. Saateviesti

OPINNÄYTETYÖ – KYSELY: KOORDINAATTIMITTAUSPALVELUN TARVEKARTOITUS

Arvoisa kyselyn vastaanottaja,

Teen opinnäytetyötäni Tampereen ammattikorkeakoululle aiheesta Koordinaattimittauspalvelun tarvekartoitus.

Kyselyn tarkoituksena on selvittää pirkanmaalla toimivien teknologiateollisuuden yritysten tarvetta koordinaattimittauspalvelulle, sekä saada mittaustoiminnan kehittämiseen liittyvää tietoa.

Uuden Mitutoyo Crysta Apex S574-koordinaattimittauskoneen hankinta liittyi TAMKin syyskuussa 2015 avattuun tutkimus-, kehittämis- ja innovaatioympäristö OpenLabiin, jonka tarkoituksena on tarjota yrityksille ja yhteisöille erilaisia tuotekehitys- ja innovaatiopalveluita sekä laitekanta ja siihen liittyvä osaaminen.

Linkki OpenLabin sivuille: <http://www.tamk.fi/web/tamk/openlab>

Kyselytutkimukseen vastanneiden yritysten ja henkilöiden nimiä tai yhteystietoja ei mainita opinnäytetyössä. Tutkimuksen tulokset luovutetaan kuitenkin Tampereen ammattikorkeakoulun henkilökunnan hyödynnettäväksi. Opinnäytetyön ohjaajaa sekä muuta TAMKin henkilökuntaa velvoittaa vaitiolovelvollisuus ja hyväksikäyttökielto ideapaperiin, opinnäytetyösuunnitelmaan, tutkimuksen pohja-aineistoon ja kaikkiin salassa pidettäviin tietoihin koko opinnäytetyöprosessin ajan sekä sen jälkeen (JulkL 23§).

Olisin erittäin kiitollinen kyselyyn vastaamisesta tai viestin välittämisestä sopivalle vastaajalle, koska työn onnistuminen edellyttää tarpeeksi suurta vastaajamäärää. Kysely on lyhyt ja vastaamiseen menee aikaa n. **5–10 minuuttia**. Tähdellä merkityt kysymykset ovat pakollisia.

Opinnäytetyö löytyy valmistumisen jälkeen osoitteesta <http://www.theseus.fi/>. Tiedot koneen ominaisuuksista löytyvät kaavakkeesta.

VASTAA KYSELYYN KLIKKAAMALLA LINKKIÄ: <https://fi.surveymonkey.com/r/TN2JTWQ>

Vastaathan kyselyyn **19.4.2017** mennessä!

Kiitos jo etukäteen vastauksestanne ja vaivannäöstänne!

Liite 2. Muistutusviesti

OPINNÄYTETYÖ –KYSELY: KOORDINAATTIMITTAUSPALVELUN TARVEKARTOITUS

Arvoisa kyselyn vastaanottaja,

Lähetin teille 12.4.2017 kutsun kyselytutkimukseen. Vastausprosentti jäi melko pieneksi ja toivoisinkin, että vastaisitte kyselyyn tai välittäisitte viestin eteenpäin yrityksessänne.

Kiitos vastauksestanne ja vaivannäöstänne!

VASTAA KYSELYYN KLIKKAAMALLA LINKKIÄ: <https://fi.surveymonkey.com/r/TN2JTWQ>
Linkki OpenLabin sivuille: <http://www.tamk.fi/web/tamk/openlab>

Vastaathan viimeistään **24.4.2017!**

Koordinaattimittauspalvelun tarvekartoitus

Koordinaattimittauskoneen sekä ohjelmiston ominaisuudet:

Kone sijaitsee Tampereen ammattikorkeakoulun mittauslaboratoriossa.

Laboratorio ei ole akkreditoitu.

- Malli: Mitutoyo Crysta Apex S 574
- Toiminta-alue: 500 mm x 700 mm x 400 mm (XYZ)
- Työkappaleen suurin sallittu massa: 180 kg
- Koneen suurin sallittu mittausvirhe: $(1,7+0,3L/100) \mu\text{m}$ (EN-ISO 10360-2:2010, lämpötilassa 18 – 22°)
- Lämpötilan kompensointi
- Indeksoiva mittapää: Renishaw PH10M (720 mittausasentoa)
- Skannaava mittausanturi: Renishaw SP25M (Tuntemattoman muodon skannaus)
- Mitattujen pisteiden vertaus CAD-mallia vastaan
- Helppo osaohjelmien luonti CAD-mallin avulla

Tähdellä merkityt kysymykset ovat pakollisia!

* 1. Onko yrityksessänne tarvetta ulkopuoliselle koordinaattimittauspalvelulle?

- ☐ Kyllä
- ☐ Ei

2. Onko koneen toiminta-alue riittävä mittauksia vaativille työkappaleillesi?

- ☐ Kyllä
- ☐ Ei

3. Onko yrityksessänne tarvetta hammaspyöröjen mittauksille?

- ☐ Kyllä
- ☐ Ei

4. Onko mittauksia vaativia työkappaleita suuria sarjoja?

- ☐ Kyllä
- ☐ Ei

5. Jos vastasit edelliseen kyllä, kuinka usein sarjoja mitataan?

Kuinka suurista kappalemääristä on kyse?

Liite 3. Kyselylomake

2(2)

6. Onko mittauksille erityisvaatimuksia? (esim. muodon skannaus)

7. Mihin toleranssiin tarkimmissa mittauksissanne tulisi päästä?

8. Vapaa kommenttikenttä:

* 9. Olen kiinnostunut seuraavista OpenLabin palveluista:

- ☐ Tuotekehitys-, mallinnus- ja innovaatiopalvelut
- ☐ Laboratorioanalyysit ja materiaalitestaukset
- ☐ Protovalmistus ja pikamallinnus
- ☐ Koulutuspalvelut
- ☐ En mistään

* 10. Yhteystiedot

Nimi

Yritys

Sähköpostiosoite

Puhelinnumero

Lähetä vastaukset

